

Failure probability of F-100 Pratt & Whitney-220E turbofan engine on F-16 fighting falcon aircraft

Rizki Riswandi Hanawaa, Fajar Khanif Rahmawati*, Elisabeth Anna Prattiwi,
Maria Asumpta Deny Kusumaningrum, Eli Kumolosari

Adisutjipto Institute of Aerospace Technology

Article Info

Article history:

Received June 7, 2024

Accepted July 17, 2024

Published August 28, 2024

Keywords:

Engine

Failure

Probability

ABSTRACT

Engine failure is a condition where the engine operates outside normal conditions. One of the abnormal conditions can be caused by a fault in each engine module. The engine module is one of the components on an aircraft that supports the aircraft to fly and controls all engine operations, whether on the ground or during flight. The problem can occur in each engine module at any time causing engine failure. Therefore, it is necessary to carry out further analysis to determine the cause of the failure that occurred, as well as to implement appropriate mitigation measures. The method used is the Fault Tree Analysis (FTA) method, which is a method for identifying risks that contribute to failure and determining failure probability. Using the qualitative fault tree analysis method 71 events were obtained with 35 basic events. Meanwhile, the quantitative analysis produces a cumulative probability failure of 0.747. The probability value has almost reached 1, therefore preventive maintenance has to be carried out to prevent functional failure.



Corresponding Author:

Fajar Khanif Rahmawati,

Department of Aeronautical Engineering,

Faculty of Aerospace Technology

Adisutjipto Institute of Aerospace Technology

Jl. Janti Blok – R Lanud Adisutjipto

Kec. Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55198

Email: fajar.khanif@gmail.com

1. PENGANTAR

Keselamatan merupakan hal yang sangat penting dalam dunia penerbangan, dan harus menjadi perhatian bagi para pelaku industri penerbangan. Operator pesawat udara harus bertanggung jawab mempertahankan kelaikan udara dari pesawat yang dimilikinya, termasuk kepatuhan terhadap semua regulasi yang diterbitkan oleh *Directorate General of Civil Aviation* (DGCA). Sebagaimana tertulis dalam Undang-Undang Nomor 1 tahun 2009 pasal 46 yang menyebutkan bahwa “Setiap orang yang mengoperasikan pesawat udara wajib merawat pesawat udara, mesin pesawat udara, baling-baling pesawat terbang, dan komponennya untuk mempertahankan keandalan dan kelaikudaraan secara berkelanjutan”[1]. Salah satu cara yang dilakukan operator untuk mempertahankan kelaikan udara dari sebuah pesawat yaitu dengan melakukan perawatan secara terjadwal maupun tidak terjadwal agar komponen-komponen pesawat tetap dalam kondisi laik. Perawatan pesawat memberikan jaminan keselamatan penerbangan, keandalan, dan kelaikan udara [2]. Dalam kaitannya untuk mempertahankan kelaikan, perawatan yang dilakukan menyangkut banyak aspek yang harus dilakukan oleh operator, mulai dari tahap persiapan dan pelaksanaan serta sampai proses sertifikasi. Secara lengkap perawatan dapat didefinisikan sebagai semua kegiatan yang dilakukan untuk mempertahankan pesawat udara, komponen-komponen pesawat udara dan perlengkapannya dalam kondisi laik udara (*airworthy*) termasuk inspeksi, *repair*, *service*, *overhaul*, dan pergantian komponen [3]. Perbaikan pesawat harus difokuskan pada 2 (dua) sudut pandang yang signifikan, khususnya bagian dari perawatan pesawat dan mendukung kelancaran transportasi, mengingat kerusakan pesawat sekecil apa pun akan mengganggu dan

menghambat kegiatan penerbangan [4]. Penilaian risiko dapat memudahkan dalam proses memahami adanya ketidakpastian pada struktur yang kritis, dapat digunakan dalam proses identifikasi bahaya, membantu mengevaluasi respon oleh sistem dan kerentanan yang terkait dengan setiap bahaya yang ada, serta menilai efektivitas tindakan pengurangan risiko yang dilakukan [5]. Kegagalan yang terjadi pada komponen juga dapat menyebabkan bertambahnya *downtime* untuk kegiatan perbaikan yang dapat berdampak pada operasional penerbangan pesawat yang akan merugikan maskapai [6]. Kerusakan yang terjadi sebelum batas usia suatu komponen menyebabkan *unschedule maintenance* [7]. Secara umum pesawat terbang terdiri dari 5 (lima) grup atau bagian utama yaitu *fuselage*, *wing*, *empenage*, *landing gear* dan *power plant* [8]. *Engine* yang termasuk dari *power plant* merupakan salah satu major komponen pada pesawat terbang, yang tentunya juga harus senantiasa dalam kondisi laik.

Pesawat *F-16 Fighting Falcon* memiliki *engine* tipe *F-100 Pratt Whitney-220E*. Selama pengoperasiannya pada studi kasus yang dilakukan, *engine* mengalami beberapa kali kegagalan yang menjadikan kondisi pesawat menjadi tidak laik. Hal ini karena setiap komponen yang terlibat dalam aktivitas penerbangan akan mengalami penurunan kemampuan sehingga pada akhirnya akan mengalami kerusakan seiring frekuensi pengoperasian dan penurunan keandalan dari komponen tersebut [7]. Kegagalan material/komponen/sistem merupakan degradasi yang terjadi pada logam atau material. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja dari suatu material, baik itu mengurangi masa pakai dari alat ataupun dapat menyebabkan kecelakaan yang berakibat fatal [9]. Berdasarkan data kegagalan yang telah terjadi maka perlu dilakukan pengkajian mengenai akar penyebab kegagalan serta nilai probabilitas kegagalan yang terjadi untuk mengetahui kemungkinan kegagalan fungsional. Dengan mengetahui nilai probabilitas maka diharapkan kegagalan komponen dapat diantisipasi dengan memonitor dan mendeteksi awal kegagalan sehingga kegagalan dapat dicegah [10].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian yang termasuk dalam penelitian deskriptif yang digunakan untuk menemukan pengetahuan yang seluas-luasnya terhadap objek penelitian. Objek penelitian dalam penulisan penelitian ini adalah kegagalan pada *Engine F-100 Pratt Whitney-220E* Pesawat *F-16 Fighting Falcon*. Munculnya kegagalan tidak dapat diprediksi mengingat tidak adanya pengawasan terhadap catatan kerusakan yang dialami pesawat [11]. Pesawat ini merupakan pesawat buatan *General Dynamics, Lockheed Corporation Amerika Serikat*. Pesawat ini memiliki *engine* berjenis *Afterburning Turbofan Engine F-100 Pratt Whitney-220E*. Pesawat *F-16 Fighting Falcon* merupakan salah satu jenis pesawat tempur strategis (TS) yang banyak digunakan di berbagai negara guna mempertahankan kedaulatan negara.

Secara garis besar, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Langkah pertama adalah memulai penelitian sesuai dengan objek penelitian yang akan dibahas.
2. Kemudian menentukan subjek dan objek penelitian, yaitu studi yang dilakukan untuk memperjelas subjek dan objek yang akan dianalisis menggunakan metode *fault tree analysis*.
3. Melakukan pengumpulan data baik secara studi observasi maupun wawancara langsung dengan pembimbing lapangan yang berkaitan dengan topik penelitian.
4. Apabila hasil dari pengolahan data tersebut telah mencukupi sebagai bukti yang kuat dalam proses penyusunan *fault tree*, maka dilanjutkan pembahasan mengenai analisis menggunakan *fault tree*. Namun jika data yang diperoleh belum menjadi bukti yang kuat dalam proses analisa data, maka dilakukan pengumpulan data ulang.
5. Identifikasi kegagalan dilakukan untuk menentukan adanya kemungkinan-kemungkinan yang dapat menyebabkan kerusakan.
6. Menghitung nilai probabilitas kegagalan di masing-masing *engine module*.
7. Mengambil kesimpulan berdasarkan hasil seluruh pembahasan yang telah dianalisis serta memberikan saran.
8. Selesai.

3. HASIL DAN ANALISIS

Berdasarkan data kegagalan *Engine F-100 Pratt Whitney-220E* maka diperoleh klasifikasi data sebagaimana pada Tabel 1.

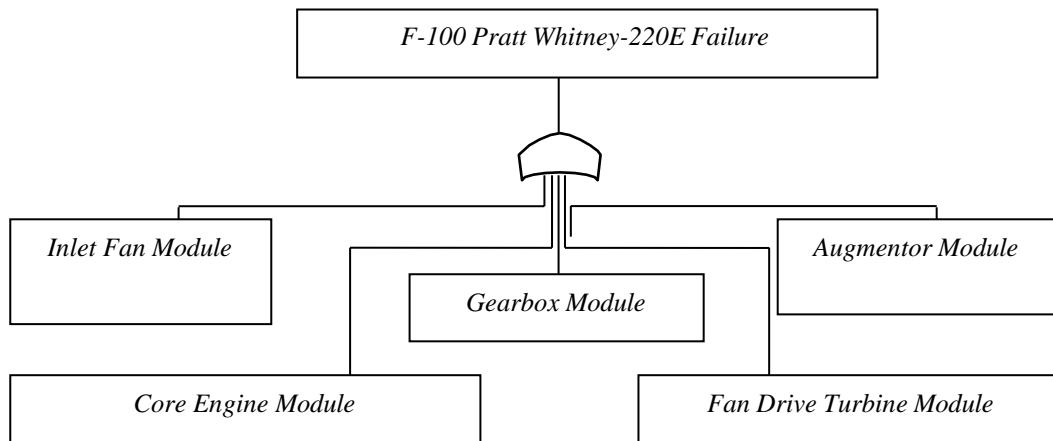
Tabel 1. Data Frekuensi Kegagalan *Engine F-100 Pratt & Whitney-220E*

<i>Module Engine F-100 PW-220E</i>	Jumlah Frekuensi Kegagalan Pada Tahun 2022
<i>Inlet Fan Module</i>	14 Kasus Kegagalan
<i>Core Engine Module</i>	11 Kasus Kegagalan
<i>Gearbox Module</i>	27 Kasus Kegagalan

Fan Drive Turbine Module
Augmentor Module
Total :

6 Kasus Kegagalan
13 Kasus Kegagalan
71 Kasus Kegagalan

Setelah melakukan identifikasi penyebab permasalahan, dapat dilakukan penyusunan diagram *Fault Tree Analysis* yang lebih mendasar. Dalam identifikasi *fault tree* dengan *top event Engine F-100 Pratt Whitney-220E Failure*, terdapat lima *intermediate event* yaitu pada *Inlet Fan Module*, *Core Engine Module*, *Gearbox Module*, *Fan Drive Turbine Module*, dan *Augmentor Module*. Yang menyebabkan kegagalan yang dihubungkan dengan gerbang logika “OR” dimana pengertian dari gerbang logika “OR” sendiri adalah jika salah satu dari penyebab kegagalan terjadi, maka kegagalan akan terjadi [12]. Sesuai yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi *Top Event Engine F-100 Pratt Whitney-220E Failure*

Setelah menyusun *top event*, selanjutnya mengidentifikasi *intermediate* dan *basic event* dari masing – masing *top event* tersebut yang dapat tertampil pada minimum *cut set*. Analisa minimum *cut set* adalah sebuah metode untuk mengetahui daftar peristiwa kegagalan yang terjadi yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada *Top Event* (peristiwa puncak) dari suatu *event* (kejadian). Dari hasil analisa minimum *cut set* dilakukan klasifikasi minimum *cut set*, yaitu terdapat 35 *basic event* penyebab terjadinya kegagalan pada *Engine Turbofan F-100 Pratt Whitney-220E* di Hangar perawatan pesawat XXX. Berikut ini adalah definisi 35 kasus penyebab terjadinya *top event* dari semua *Engine Module Turbofan F-100 Pratt Whitney-220E* Pada Pesawat *F-16 Fighting Falcon*, adalah berikut.

1. Sensor FTIT Rusak
2. Kerusakan Pada *Fuel Nozzels*
3. Konsumsi *Fuel* Berkurang
4. *Main Fuel Control* Rusak
5. Sensor FTIT Rusak
6. *Fuel Flow* Terlalu Tinggi/Rendah
7. *Bird Strike*
8. Komponen Pesawat *Bolt, Nuts, Wire*
9. Komponen Kendaraan Di Area *Runway*
10. *Seal/Gasket Lake* Usia Pemakaian
11. Kerusakan Pada *Main Fuel Control*
12. Adanya *Bubble* Pada *Fuel System*
13. *Open/close* Katup *Fuel Valve Stuck*
14. *Main Fuel Control* Rusak
15. Kerusakan Pada *Fuel Pressure Relief Valve*
16. *Oil Pressure Tranducer* Kotor
17. Sensor *Oil Temperature* Rusak
18. *Filter Oil Cooler* Kotor/Rusak
19. *Main Oil Pump* Rusak

20. *Oil* Terlalu Panas
21. *Seal Bearing* 2 & 3 Longgar
22. Terdapat *Metal/Bram* Kotoran Di *Filter Oil Cooler*
23. Adanya Gesekan Berlebih/Aus Pada Set Roda Gigi
24. Filter Udara Kotor
25. *Seal Oli* Longgar
26. *Fuel Spray Nozzel* Gagal Mengabutkan *Fuel*
27. *Main Fuel Pump* Rusak
28. *Main Fuel Control* Rusak
29. Adanya Penyumbatan Udara Pada Sistem Pendinginan
30. *Augmentor Inner Crack*
31. *Augmentor Inner Missing Cooling*
32. Usia Pemakaian
33. Material Memuai Karena *Overheating*
34. *Vibration* Yang Terlalu Sering
35. *Seal Gasket Bocor*

Analisis kuantitatif *fault tree* merupakan suatu analisis yang berguna dalam menentukan kemungkinan atau probabilitas dari sebuah kejadian yang di teliti. Dalam analisis kuantitatif yang dilakukan, perhitungan probabilitas kegagalan sistem atau subsistem [13]. Dalam analisis kuantitatif ini memerlukan konsep dasar mengenai probabilitas. *Top event* dari sebuah kejadian direpresentasikan sebagai gabungan dari minimal *cut set*. Penjumlahan dari probabilitas masing-masing *cut set* tersebut menghasilkan probabilitas dari terjadinya *top event*. Probabilitas masing-masing *cut set* atau *basic event* dapat dihitung melalui rumus 1 [12].

$$P = \frac{\text{Banyaknya kejadian pada 1 basic event}}{\text{Jumlah keseluruhan kejadian basic event}} \quad (1)$$

Dengan P sebagai probabilitas.

Dalam menentukan nilai probabilitas dari *top event* sebuah kejadian kegagalan, maka dapat dibagi menjadi beberapa *module* pada kerusakan *Engine F-100 Pratt Whitney-220E* berdasarkan mode kegagalan sebagaimana dicantumkan pada Tabel 2.

3.1 Analisis Kuantitatif Pada *Inlet Fan Module*

Terdapat 9 *basic event* pada *Inlet Fun Module Engine F-100 Pratt Whitney-220E* yang sudah disusun di dalam diagram *fault tree*. Pada tabel 2 merupakan nilai probabilitas dari *Inlet Fun Module* kejadian kegagalan *Engine F- 100 Pratt Whitney-220E* Pada Pesawat *F-16 Fighting Falcon* yang telah dihitung dengan menggunakan rumus 1.

Tabel 2. Analisis Kuantitatif *Inlet Fan Module*

Penyebab Kejadian	Simbol	Banyaknya Kejadian	Nilai Probabilitas
Sensor FTIT Rusak	M1	1	0,011
Kerusakan Pada <i>Fuel Nozzels</i>	M2	1	0,011
Konsumsi <i>Fuel</i> Berkurang	M3	1	0,011
<i>Main Fuel Control</i> Rusak	M4	2	0,021
Sensor FTIT Rusak	M5	1	0,011
<i>Fuel Flow</i> Terlalu Tinggi/Rendah	M6	1	0,011
<i>Bird Strike</i>	M7	4	0,041
Komponen Pesawat <i>Bolt, Nuts, Wire</i>	M8	1	0,011
Komponen Kendaraan Di Area <i>Runway</i>	M9	2	0,021
	Total	14	0,149

Hasil probabilitas *Inlet Fan Module* adalah sebesar 0,149. Angka probabilitas pada *Inlet Fan Module* berada dibawah nilai 1, sehingga masih masuk kategori rendah.

3.2 Analisis Kuantitatif Pada Core Engine Module

Terdapat 6 *basic event* pada *Core Engine Module Engine F-100 Pratt Whitney-220E* yang sudah disusun di dalam diagram *fault tree*. Pada tabel 3 merupakan nilai probabilitas dari *Core Engine Module* kejadian kegagalan *Engine F- 100 Pratt Whitney-220E* Pada Pesawat *F-16 Fighting Falcon* yang telah dihitung dengan menggunakan rumus 1.

Tabel 3 Analisis Kuantitatif *Core Engine Module*

Penyebab Kejadian	Simbol	Banyaknya Kejadian	Nilai Probabilitas
<i>Seal/Gasket Lake</i> Usia Pemakaian	M10	3	0,031
Kerusakan Pada <i>Main Fuel Control</i>	M11	2	0,021
Adanya <i>Bubble</i> Pada <i>Fuel System</i>	M12	3	0,031
<i>Open/close</i> Katup <i>Fuel Valve Stuck</i>	M13	1	0,011
<i>Main Fuel Control</i> Rusak	M14	1	0,011
Kerusakan Pada <i>Fuel Pressure Relief Valve</i>	M15	1	0,011
	Total	11	0,116

Pada Tabel 3 menjelaskan bahwa hasil *Core Engine Module* memiliki angka probabilitas sebesar 0,116. Angka probabilitas pada *Core Engine Module* masih berada dibawah nilai 1, sehingga masih masuk kategori rendah.

3.3 Analisis Kuantitatif Pada Gearbox Module

Terdapat 10 *basic event* pada *Gearbox Module Engine F-100 Pratt Whitney-220E* yang sudah disusun di dalam diagram *fault tree*. Pada tabel 4 merupakan nilai probabilitas dari *Gearbox Module* kejadian kegagalan *Engine F- 100 Pratt Whitney-220E* Pada Pesawat *F-16 Fighting Falcon* yang telah dihitung dengan menggunakan rumus 1.

Tabel 4. Analisis Kuantitatif *Gearbox Module*

Penyebab Kejadian	Simbol	Banyaknya Kejadian	Nilai Probabilitas
<i>Oil Pressure Tranducer</i> Kotor	M16	2	0,021
Sensor <i>Oil Temperature</i> Rusak	M17	3	0,031
<i>Filter Oil Cooler</i> Kotor/Rusak	M18	2	0,021
<i>Main Oil Pump</i> Rusak	M19	1	0,011
<i>Oil</i> Terlalu Panas	M20	2	0,021
<i>Seal Bearing</i> 2 & 3 Longgar	M21	1	0,011
Terdapat <i>Metal/Bram</i> Kotoran Di <i>Filter Oil Cooler</i>	M22	5	0,052
Adanya Gesekan Berlebih/Aus Pada Set Roda Gigi	M23	6	0,062
Filter Udara Kotor	M24	4	0,041
<i>Seal Oli</i> Longgar	M25	1	0,011
	Total	27	0,282

Pada Tabel 4 menjelaskan bahwa hasil *Gearbox Module* memiliki angka probabilitas sebesar 0,282. Angka probabilitas pada *Gearbox Module* masih berada dibawah nilai 1, sehingga masih masuk kategori rendah.

3.4 Analisis Kuantitatif Pada Fan Drive Turbine Module

Terdapat 3 *basic event* pada *Fan Drive Turbine Module Engine F-100 Pratt Whitney-220E* yang sudah disusun di dalam diagram *fault tree*. Pada tabel 5 merupakan nilai probabilitas dari *Fan Drive Turbine Module* kejadian kegagalan *Engine F- 100 Pratt Whitney-220E* Pada Pesawat *F-16 Fighting Falcon* yang telah dihiung dengan menggunakan rumus 1.

Tabel 5 Analisis Kuantitatif *Fan Drive Turbine Module*

Penyebab Kejadian	Simbol	Banyaknya Kejadian	Nilai Probabilitas
-------------------	--------	--------------------	--------------------

<i>Fuel Spray Nozzel</i> Gagal Mengabutkan <i>Fuel</i>	M26	2	0,021
<i>Main Fuel Pump</i> Rusak	M27	2	0,021
<i>Main Fuel Control</i> Rusak	M28	2	0,021
	Total	6	0,063

Pada Tabel 5 menjelaskan bahwa hasil *Fan Drive Turbine Module* memiliki angka probabilitas sebesar 0,063. Angka probabilitas pada *Fan Drive Turbine Module* masih berada dibawah nilai 1, sehingga masih masuk kategori rendah.

3.5 Analisis Kuantitatif Pada *Augmentor Module*

Terdapat 7 *basic event* pada *Augmentor Module Engine F-100 Pratt Whitney-220E* yang sudah disusun di dalam diagram *fault tree*. Pada tabel 6 merupakan nilai probabilitas dari *Augmentor Module* kejadian kegagalan *Engine F- 100 Pratt Whitney-220E* Pada Pesawat *F-16 Fighting Falcon* yang telah dihitung dengan menggunakan rumus 1.

Tabel 6. Analisis Kuantitatif *Augmentor Module*

Penyebab Kejadian	Simbol	Banyaknya Kejadian	Nilai Probabilitas
Adanya Penyumbatan Udara Pada Sistem Pendinginan	M29	1	0,011
<i>Augmentor Inner Crack</i>	M30	1	0,011
<i>Augmentor Inner Missing Cooling</i>	M31	2	0,021
Usia Pemakaian	M32	1	0,011
Material Memuai Karena <i>Overheating</i>	M33	2	0,021
<i>Vibration</i> Yang Terlalu Sering	M34	3	0,031
<i>Seal Gasket Bocor</i>	M35	3	0,031
	Total	13	0,137

Pada Tabel 6 menjelaskan bahwa hasil *Augmentor Module* memiliki angka probabilitas sebesar 0,137. Angka probabilitas pada *Augmentor Module* masih berada dibawah nilai 1, sehingga masih masuk kategori rendah. Berdasarkan digram Top Event pada gambar 1 dan perhitungan probabilitas setiap *Module Engine F-100 Pratt Whitney-220E*, maka jika hanya salah satu modul saja yang mengalami kegagalan tidak menyebabkan kegagalan langsung pada *Engine F-100 Pratt Whitney-220E*. Hal ini didukung dengan hasil perhitungan probabilitas yang juga bernilai kecil (kurang dari 1).

Untuk dapat mengetahui apabila terjadi kegagalan pada semua *Module Engine F-100 Pratt Whitney-220E* maka perlu dilakukan perhitungan probabilitas secara kumulatif pada semua modul apabila mengalami kegagalan pada waktu yang sama. Perhitungan sebagaimana pada rumus 2.

$$A = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 \quad (2)$$

$$A = 0,149 + 0,116 + 0,282 + 0,063 + 0,137$$

$$A = 0,747$$

Dari hasil penjumlahan tiap *Module Engine F-100 Pratt Whitney-220E*, maka diperoleh nilai probabilitas sebesar 0,747. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa nilai probabilitas mendekati dari angka 1. Apabila dari kelima modul mengalami kegagalan pada waktu yang bersamaan maka akan mengakibatkan gagalnya *Engine F-100 Pratt Whitney-220E* saat beroperasi. Untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan pada *Engine F-100 Pratt Whitney-220E* maka upaya *preventive maintenance* pada *Engine Module F-100 Pratt Whitney-220E* harus dilakukan secara rutin. Perawatan preventif adalah perawatan yang mencegah terjadinya kegagalan komponen sebelum komponen tersebut rusak [14]. Faktor risiko kegagalan dapat diidentifikasi sedini mungkin dengan melakukan inspeksi secara rutin [15]. Dengan melaksanakan *preventive maintenance* secara rutin maka potensi kegagalan pada setiap modul dapat diketahui lebih dini sehingga dapat segera diatasi sebelum terjadi kegagalan fungsional seluruh modul yang dapat mengakibatkan gagalnya fungsi *Engine F-100 Pratt Whitney-220E*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data kegagalan *Engine Turbofan F-100 Pratt Whitney-220E* pada Pesawat *F-16 Fighting Falcon* yang telah diklasifikasikan serta dilakukan pengolahan data melalui *Fault Tree Analysis*, maka diperoleh probabilitas kumulatif sebesar 0,747. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa nilai probabilitas mendekati nilai 1, sehingga hasil dari analisis kuantitatif kegagalan *Engine Module F-100 Pratt Whitney-220E* mendefinisikan suatu kejadian atau kegagalan tersebut dapat berpotensi menjadi kegagalan fungsional pada *Engine Turbofan F-100 Pratt Whitney-220E*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-undang Tentang Penerbangan, UU No. 1 Tahun 2009, LN 2009/1, TLN No. 4956.
- [2] E. Shevilia Agustian, "Kajian Maintenance Pesawat Penumpang Di Indonesia," *Jurnal Teknik SILITEK*, vol. 03, no. 01, 2023, doi: [10.51135/jts.v3i01.61](https://doi.org/10.51135/jts.v3i01.61)
- [3] Republic Of Indonesia Ministry Of Transportation, "CASR Part.43 Maintenance, Preventive Maintenance, Rebuilding, and Alteration," Nov. 2000.
- [4] M. Taaqbier, E. Sofyan, and F. Setiawan Teknik Dirgantara, "Perancangan Aktivitas Maintenance Dengan Metode Reliability Pada Sistem Auxiliary Power Unit (APU) Pesawat Boeing 737-500 Studi Kasus Di PT. MMF Surabaya 1," Yogyakarta, 2021, doi: [10.58466/injection.v2i1.1463](https://doi.org/10.58466/injection.v2i1.1463)
- [5] A. Morales-Torres, I. Escuder-Bueno, A. Serrano-Lombillo, and J. T. Castillo Rodríguez, "Dealing with epistemic uncertainty in risk-informed decision making for dam safety management," *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 191, Nov. 2019, doi: [10.1016/j.ress.2019.106562](https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106562)
- [6] A. Azhar, D. Hartini, and P. Edi, "Troubleshooting pada Air Conditioning Recirculation System di komponen fan pesawat Boeing 737-900ER," *Vortex*, vol. 5, no. 1, Mar. 2024, doi: [10.28989/vortex.v5i1.2029](https://doi.org/10.28989/vortex.v5i1.2029)
- [7] F. Rahmawati, "Inventory Planning Management Of Low Pressure Filter Web (LPFW) ON KT1-Bee Aircraft Based On Reliability Component In Skatek 043," *Angkasa*, vol. 11, no. 2, pp. 131-139, Oct. 2019, doi: [10.28989/angkasa.v11i2.441](https://doi.org/10.28989/angkasa.v11i2.441)
- [8] D. Anggawaty, S. Mulyani, and F. Khanif, "Analisis Kegagalan Nose Wheel Steering System Pada Pesawat Boeing Dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analisis," Yogyakarta, Jan. 2022, doi: [10.28989/vortex.v3i1.1179](https://doi.org/10.28989/vortex.v3i1.1179)
- [9] A. L. Karimah, M. I. Mawarda, W. Pauru', Y. Ramadhan, and Y. Amalia, "Analisis Kegagalan Material Pada Sayap Pesawat Terbang (Review)," Yogyakarta, Jul. 2022, doi: [10.28989/jumantara.v1i1.1266](https://doi.org/10.28989/jumantara.v1i1.1266)
- [10] S. Perkasa and F. K. Rahmawati, "Analisis Kegagalan Lubrication System Auxiliary Power Unit (APU) Pesawat," Yogyakarta, Jul. 2023, doi: [10.28989/vortex.v4i2.1693](https://doi.org/10.28989/vortex.v4i2.1693)
- [11] R. A. Labib, J. Teknik, D.-S. Tinggi, and T. Adisutjipto, "Reliability Of Ec 155 B1 Aircraft Components Using Upper Control Limit (Alert Level) Formulation," Yogyakarta, Jan. 2021, doi: [10.28989/vortex.v1i2.904](https://doi.org/10.28989/vortex.v1i2.904)
- [12] N. H. Roberts and D. F. Haasl, "Fault Tree Handbook," 1981.
- [13] F. K. Rahmawati, I. Priyahapsara, R. A. Funny, and D. T. Wati, "Grob G 120 TP-A Aircraft Beta System Analysis Using Fta (Fault Tree Analysis) Method," *Vortex*, vol. 4, no. 2, pp. 99-104, Jun. 2023, doi: [10.28989/vortex.v4i2.1652](https://doi.org/10.28989/vortex.v4i2.1652)
- [14] M. Monda, "Literature Review On Aircraft Maintenance Program Perawatan Pesawat Udara," 2012.
- [15] A. R. Juanizar, S. Suripin, I. Sriyana, and S. Suprpto, "Analisis Probabilitas Kegagalan Bendungan Pacal Menggunakan Metode Event Tree Analysis," *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 117-130, Aug. 2022, doi: [10.35334/be.v1i2.2652](https://doi.org/10.35334/be.v1i2.2652)

